



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 100 57 938 A 1

51 Int. Cl. 7:  
F 01 N 9/00

21 Aktenzeichen: 100 57 938.8  
22 Anmeldetag: 22. 11. 2000  
43 Offenlegungstag: 23. 5. 2002

DE 100 57 938 A 1

71 Anmelder:  
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE  
74 Vertreter:  
Schneider, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 10117 Berlin

72 Erfinder:  
Hahn, Herrmann, 38165 Lehre, DE; Pott, Ekkehard,  
38518 Gifhorn, DE

55 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 198 44 082 C1  
DE 198 02 631 C1  
DE 197 47 222 C1  
DE 197 05 335 C1  
DE 34 43 649 C2  
DE 198 50 786 A1  
DE 41 39 560 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren und Vorrichtung zur Regeneration eines NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators

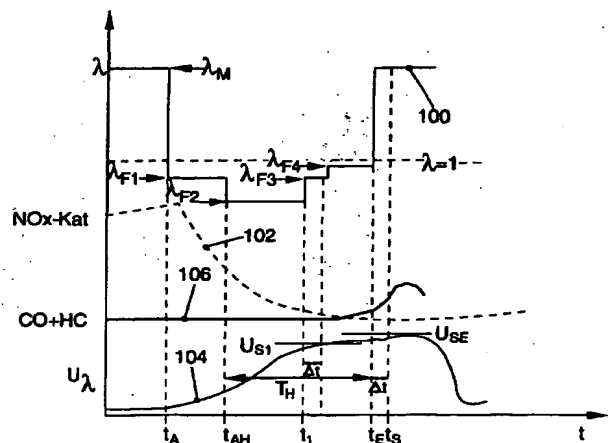
57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur NO<sub>x</sub>-Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerläuffähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators, wobei der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und eine Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, sowie eine Vorrichtung zur Regeneration eines NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators.

Es ist vorgesehen, dass

(a) während der NO<sub>x</sub>-Regeneration das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird und

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne ( $\Delta t$ ) variiert wird.

Die erfindungsgemäßen Maßnahmen gewährleisten eine Verkürzung einer Regenerationsdauer und eine weitgehende Unterdrückung von Schadstoffemissionen am Ende einer Regeneration.



DE 100 57 938 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung einer Regeneration eines  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators in einem Abgasstrang einer Verbrennungskraftmaschine sowie eine Vorrichtung zur Durchführung der Regeneration mit den im Oberbegriff der Ansprüche 1, 2 und 19 genannten Merkmalen.

[0002] Verbrennungskraftmaschinen, die aus Gründen einer Verbrauchsoptimierung wenigstens zeitweise in einem mageren Betriebsmodus, das heißt mit einem sauerstoffreichen Abgas mit  $\lambda > 1$ , betrieben werden, produzieren Stickoxide  $\text{NO}_x$  in einem stöchiometrischen Überschuss. Dies hat zur Folge, dass bei einer katalytischen oxidativen Umsetzung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC und Kohlenmonoxid CO Stickoxide  $\text{NO}_x$  nicht vollständig zu umweltneutralem Stickstoff umgesetzt werden. Zur Abhilfe ist bekannt,  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren in den Abgaskanälen von Verbrennungskraftmaschinen anzuordnen, die in mageren Betriebsphasen  $\text{NO}_x$  als Nitrat einlagern. Um  $\text{NO}_x$ -Durchbrüche aufgrund eines vollbeladenen  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators zu vermeiden, muss der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator in wiederkehrenden Abständen regeneriert werden. Zu diesem Zweck wird die Verbrennungskraftmaschine kurzfristig in einen fetten oder stöchiometrischen Arbeitsmodus ( $\lambda \leq 1$ ) umgeschaltet. Infolgedessen steigt ein Reduktionsmittelmassenstrom des Abgases an, die als Nitrat eingelagerten Stickoxide werden desorbiert und katalytisch am  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator unter gleichzeitiger Oxidation von CO und HC umgesetzt.

[0003] In einfachen Verfahren wird eine Regenerationsdauer, während der der Speicherkatalysator mit der fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt wird, fest vorgegeben. Nachteilig hieran ist, dass ein tatsächlicher Beladungszustand des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators und eine aktuelle Regenerationsrate desselben nicht berücksichtigt wird. Eine solche Vorgehensweise birgt die Gefahr, dass die Regenerationsdauer zu kurz oder zu lang gewählt wird, wobei im ersten Fall eine unvollständige Regeneration des Speichers und im zweiten Fall ein unnötiger Kraftstoffmehrerbrauch sowie eine Emission umweltschädlicher Reduktionsmittel (HC und CO) in Kauf genommen wird.

[0004] Verfeinerte Verfahren versuchen einen tatsächlichen Beladungszustand des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators anhand bestimmter Betriebsparameter während der letzten Magerphase abzuschätzen und leiten hieraus eine erforderliche Regenerationsdauer ab. Jedoch ist auch dieses Verfahren mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet, so dass sich auch hier unzuverlässige  $\text{NO}_x$ -Regenerationsdauern mit den genannten Folgen ergeben können.

[0005] Des Weiteren sind Verfahren bekannt, bei denen mit Hilfe einer stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordneten Sensorik, die einen Sauerstoffanteil des Abgases misst, der Regenerationsverlauf überwacht wird. Dabei zeigt ein sinkender Sauerstoffanteil im Abgas einen verminderten Reduktionsmittelumsatz am  $\text{NO}_x$ -Speicher und somit steigende Anteile der Reduktionsmittel im Abgas an. Um Reduktionsmitteldurchbrüche zu vermeiden, wird die  $\text{NO}_x$ -Regeneration abgebrochen, das heißt die Verbrennungskraftmaschine wieder in einen mageren Betriebsmodus umgeschaltet, sobald der gemessene Sauerstoffanteil einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet beziehungsweise eine Sensorspannung eine entsprechende Grenzspannung überschreitet. Dieses Verfahren ist mit dem Nachteil verbunden, dass der Sensor erst reagieren kann, wenn bereits ein gewisser Reduktionsmitteldurchbruch auftritt. Ferner ist zum Zeitpunkt der Grenzwerterreicherung der gesamte Abgasweg zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicher-

katalysator noch mit fettem, das heißt reduktionsmittelhaltigem, Abgas gefüllt. Diese Reduktionsmittel (HC und CO) gelangen dann weitgehend unkonvertiert als Schadstoffe in die Umwelt. Um diese Schadstoffemission gering zu halten, darf gemäß dieser Vorgehensweise das Verbrennungslambda während der Regeneration nicht zu fett eingeregelt werden. Dies führt zusätzlich zu dem Nachteil verhältnismäßig langer Regenerationsdauern und einem unnötigen Kraftstoffmehrerbrauch.

[0006] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur  $\text{NO}_x$ -Regeneration eines  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators zur Verfügung zu stellen, welches eine möglichst schnelle und vollständige Regeneration des Speicherkatalysators gewährleistet und gleichzeitig hinsichtlich einer möglichst geringen Reduktionsmittelemission optimiert ist. Es soll ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bereitgestellt werden.

[0007] Diese Aufgabe wird durch zwei Verfahren mit den in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 2 genannten Merkmalen und eine Vorrichtung nach Anspruch 19 gelöst. Das erste erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, dass

(a) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal der stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordneten Messeinrichtung hochgerechnet wird und

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal unter Berücksichtigung einer im wesentlichen der Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne variiert wird.

[0008] Durch die erfindungsgemäße Hochrechnung ist es möglich, den Verlauf des Signals der sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung zumindest für eine gewisse Dauer im Voraus mit einer ausreichenden Zuverlässigkeit zu ermitteln. Dies ermöglicht die Berücksichtigung der der Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne – nachfolgend einfachheitshalber als Abgaslaufzeit bezeichnet – bei der Veränderung des Verbrennungslambdas während der Regeneration, so dass auf eine zu erwartende Signalthöhe gewissermaßen vorausschauend reagiert werden kann. So ist es beispielsweise möglich, das Verbrennungslambda anzuheben, bevor ein durch die Hochrechnung prognostizierter, unerwünschter Reduktionsmitteldurchbruch auftritt, und diesen letztlich durch diese Maßnahme zu verringern oder sogar vollständig zu unterdrücken. Insgesamt ermöglicht das Verfahren damit eine Verminderung der CO- und HC-Emission und eine Minimierung eines für die  $\text{NO}_x$ -Regeneration notwendigen Kraftstoffmehrerbrauchs.

[0009] Die genannten Vorteile ergeben sich in noch stärkerem Ausmaß durch das zweite erfindungsgemäße Verfahren, nach welchem

(a) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal der Messeinrichtung hochgerechnet wird und auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt bestimmt wird, an dem ein vorgegebener erster Signalschwellenwert voraussichtlich überschritten wird,

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal und/oder dem Zeitpunkt unter Berücksichtigung einer im wesentlichen einer Abgaslauf-

zeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne variiert wird, und

(c) das Regenerationsende bestimmt wird, indem eine im wesentlichen der Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entsprechende Zeitspanne von dem theoretischen Zeitpunkt subtrahiert wird.

[0010] Zusätzlich zu den Maßnahmen des ersten Verfahrens wird demnach das (theoretische) Erreichen des für einen Regenerationsabbruch vorgegebenen Signalschwellenwertes im Voraus ermittelt. Somit kann die Regeneration rechtzeitig, das heißt vor dem Auftreten eines Reduktionsmitteldurchbruches, abgebrochen werden.

[0011] Nach einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Verfahren wird das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine dem Regenerationsende vorausgehend auf einen Wert nahe  $\lambda = 1$  angehoben, wobei dieser Wert größer, das heißt magerer, als ein vorausgegangener Lambda wert und gleichzeitig  $<$  oder  $= 1$  ist. Erfindungsgemäß ergeben sich mehrere Alternativen, um einen Zeitpunkt dieser Anhebung zu bestimmen. Beispielsweise kann die Anhebung nach Ablauf eines vorgebbaren Anteils einer durch die Hochrechnung ermittelten Regenerationsgesamtdauer erfolgen. Noch vorteilhafter ist es, das Verbrennungslambda bei Erreichen eines zweiten vorgegebenen Signalschwellenwertes durch das hochgerechnete Sensorsignal unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit anzuheben, wobei der zweite Signalschwellenwert sinnvollerweise kleiner ist als der erste Signalschwellenwert, sofern es sich um eine SONDENSANUNG handelt. Die Anhebung des Verbrennungslambdas vor dem Regenerationsende bewirkt eine Verminderung eines Reduktionsmittelmassenstroms zu einem Zeitpunkt, an dem nur noch geringe Mengen eingelagerter Stickoxide im Speicherkatalysator zur Konvertierung der Reduktionsmittel zur Verfügung stehen. Durch diese Maßnahme wird somit die Gefahr eines Reduktionsmitteldurchbruchs am Ende der Regeneration zusätzlich vermindert. Dabei hat es sich besonders bewährt, das Verbrennungslambda auf Lambda werte von 0,94 bis 0,99, insbesondere auf 0,95 bis 0,98, anzuheben.

[0012] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine solange unterhalb eines vorausgegangenen Lambda wertes abgesenkt, bis das hochgerechnete Sensorsignal unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit einen dritten vorgegebenen Signalschwellenwert erreicht. In diesem Zusammenhang haben sich Verbrennungslambda werte von 0,6 bis 0,9, insbesondere von 0,7 bis 0,8, besonders bewährt. Durch diese Ausgestaltung des Verfahrens wird der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator folglich mit einer vergleichsweise sehr fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt, solange der Speicher noch einen durch die dritte Signalschwelle markierte Mindestbelastung an Stickoxiden aufweist. Durch diese zumindest zeitweise sehr fette Beaufschlagung des Speicherkatalysators wird eine Effizienz der  $\text{NO}_x$ -Umsetzung erhöht, die Regenerationsdauer verkürzt und letztendlich der für die Regeneration aufzuwendende Kraftstoffmeherverbrauch minimiert.

[0013] Es ist selbstverständlich denkbar, weitere Schwellenwerte vorzugeben, deren Überschreitung durch das hochgerechnete Sensorsignal weitere Variationen des Verbrennungslambdas auslöst. Zusätzliche Schwellenwerte können beispielsweise einen anderweitig ermittelten Alterungszustand des Speicherkatalysators berücksichtigen. Die verschiedenen Anhebungen und/oder Absenkungen des der Verbrennungskraftmaschine zuzuführenden Luft-Kraftstoff-

Gemisches können auch stufenweise oder sogar kontinuierlich erfolgen.

[0014] Obwohl es prinzipiell möglich ist, die Abgaslaufzeit als Festwert vorzugeben, ist bevorzugt vorgesehen, diese anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine zu berechnen. Dabei kann auf bekannte Betriebsparameter wie Motorlast, Drehzahl oder Abgastemperatur oder auch andere geeignete Daten zurückgegriffen werden.

[0015] Die Hochrechnung des sauerstoffabhängigen Signals der Messeinrichtung erfolgt gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine und/oder der Abgasanlage. Dies kann etwa ein aktuelles, der Verbrennungskraftmaschine zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) und/oder ein Abgasmassenstrom und/oder eine Abgastemperatur und/oder eine Katalysatortemperatur sein. Die Genauigkeit der Hochrechnung kann weiterhin dadurch erhöht werden, dass sie unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators erfolgt. Ein solches Verhaltensmodell kann etwa den Verlauf einer Regenerationsrate in Abhängigkeit von dem aktuellen Reduktionsmittelmassenstrom und/oder der Katalysatortemperatur beinhalten. Das Verhaltensmodell kann zudem den während der aktuellen Regeneration gemessenen Signalverlauf berücksichtigen. Eine vorteilhafte Weiterentwicklung des Verfahrens kann ferner erzielt werden, indem das Signal unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells der sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung hochgerechnet wird. Dabei kann insbesondere eine Trägheit, also eine Zeitverzögerung, mit der die Messeinrichtung veränderte Abgasbedingungen anzeigt, aber auch eine aktuelle, etwa über einen Innenwiderstand gemessene, Temperatur der Messeinrichtung berücksichtigt werden.

[0016] Da die Zuverlässigkeit der Hochrechnung des Signalverlaufes unter bestimmten extremen Randbedingungen vermindert werden kann, sieht eine bevorzugte Ausführung des Verfahrens vor, Grenzwerte für verschiedene Betriebsbedingungen der Verbrennungskraftmaschine und/oder der Abgasanlage vorzugeben und die Hochrechnung zu unterdrücken, wenn diese Grenzwerte nicht eingehalten werden. Dabei sind insbesondere Grenzwerte für den Abgasmassenstrom und/oder für die Temperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators sinnvoll, da bei zu hohen Abgasmassenströmen oder zu niedrigen Katalysatortemperaturen die Regenerationsraten zu unstetig erfolgt, um mit ausreichender Zuverlässigkeit hochgerechnet werden zu können. Die Signalhochrechnung kann vorteilhafterweise auch dann unterdrückt werden, wenn betriebspunktabhängige Störeinflüsse vorliegen, die eine irreguläre  $\text{NO}_x$ -Regeneration beeinflussen. Dies ist beispielsweise bei einer Schubabschaltung der Verbrennungskraftmaschine der Fall.

[0017] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt die Hochrechnung nicht während der gesamten Regenerationsdauer des Speicherkatalysators, sondern erst nach Verstreichen einer vorgegebenen Zeit nach Beginn der Regeneration und/oder nach Durchsatz einer vorgegebenen Abgasmasse und/oder nach Überschreiten einer vorgegebenen Mindestschwelle des Signals der Messeinrichtung. Durch diese Maßnahmen wird gewährleistet, dass der Signalverlauf bereits über eine gewisse Mindestdauer bekannt ist und somit zuverlässiger extrapoliert werden kann. Nach Beginn der Hochrechnung sollte der Signalverlauf weiterhin verfolgt werden, so dass die Hochrechnung ständig aktualisiert werden kann.

[0018] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst Mittel, mit denen die geschilderten Verfahrensschritte der Verfahren ausführbar sind. Die Mittel umfassen eine Steuereinheit,

in der ein Algorithmus zur Steuerung der Verfahrensschritte in digitaler Form hinterlegt ist. Diese Steuereinheit kann vorteilhaft auch in ein Motorsteuergerät des Fahrzeuges integriert sein.

[0019] Die sauerstoffsensitive Messeinrichtung kann eine stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordnete Lambdasonde, insbesondere eine Breitband- oder eine Sprungantwort-Lambdasonde, sein oder ein  $\text{NO}_x$ -Sensor, der über ein Lambdaausgangssignal verfügt.

[0020] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0021] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0022] Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasanlage;

[0023] Fig. 2 zeitliche Verläufe verschiedener Abgasparameter während einer herkömmlichen  $\text{NO}_x$ -Regeneration und

[0024] Fig. 3 zeitliche Verläufe verschiedener Abgasparameter während einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0025] Der in der Fig. 1 dargestellten Verbrennungskraftmaschine 10 ist eine insgesamt mit 12 bezeichnete Abgasanlage zugeordnet. Die Abgasanlage 12 umfasst einen Abgaskanal 14, in dem ein in einer motornahen Position angeordneter Vorkatalysator 16 sowie ein großvolumiger  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 18 angeordnet sind. Neben dem Katalysatorsystem 16, 18 beherbergt der Abgaskanal 14 üblicherweise verschiedene, nicht gezeigte Gas- und/oder Temperatursensoren zur Regelung der Verbrennungskraftmaschine 10. Dargestellt ist hier lediglich eine sauerstoffempfindliche Messeinrichtung 20, die stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 18 angeordnet ist. Die Messeinrichtung 20 kann beispielsweise eine Lambdasonde oder ein  $\text{NO}_x$ -Sensor sein, welcher mit einer Lambdamessfunktion ausgestattet ist. In jedem Fall stellt die Messeinrichtung 20 ein von einem Sauerstoffanteil des Abgases abhängiges Signal  $U_\lambda$  bereit. Dieses Signal  $U_\lambda$  wird an ein Motorsteuergerät 22 übermittelt, in welchem es digitalisiert und weiterverarbeitet wird. Weitere, den Betriebszustand der Verbrennungskraftmaschine 10 betreffende Informationen finden ebenfalls Eingang in das Motorsteuergerät 22. In dem Motorsteuergerät 22 ist eine Steuereinheit 24 integriert, in welcher ein Algorithmus zur Durchführung des Verfahrens zur  $\text{NO}_x$ -Regeneration des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 18 hinterlegt ist. Das Motorsteuergerät 22 und die Steuereinheit 24 sind in der Lage, mindestens einen Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere ein zuzuführendes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda), in Abhängigkeit von dem Signal  $U_\lambda$  der Messeinrichtung in noch zu erläuternder Weise zu beeinflussen.

[0026] Fig. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf verschiedener Parameter der Verbrennungskraftmaschine 10 sowie der Abgasanlage 12 während einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 18, die nach einem herkömmlichen Verfahren durchgeführt wird. Zunächst befindet sich die Verbrennungskraftmaschine 10 in einem mageren Betriebsmodus, in dem ihr ein sauerstoffreiches Luft-Kraftstoff-Gemisch mit  $\lambda_M \gg 1$  zugeführt wird (Graph 100). In dieser Phase enthält das Abgas einen Überschuss an Stickoxiden  $\text{NO}_x$ , die durch den Vorkatalysator 16 nicht vollständig konvertiert werden können.  $\text{NO}_x$  wird daher in den  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 18 eingelagert, dessen  $\text{NO}_x$ -Beladung dabei kontinuierlich zunimmt (Graph 102). Anhand eines geeigneten Kriteriums wird zu einem Zeitpunkt  $t_A$  eine  $\text{NO}_x$ -Regenerationsnotwendigkeit erkannt. Dies kann beispielsweise

ein, durch die Messeinrichtung 20 detektierter  $\text{NO}_x$ -Durchbruch sein. Infolgedessen wird die Verbrennungskraftmaschine 10 durch Einflussnahme des Motorsteuergerätes 22 in einen fetten Betriebsmodus umgeschaltet mit  $\lambda_F < 1$ . Infolge des nunmehr erhöhten Massenstroms der Reduktionsmittel CO und HC im Abgas wird das im  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 18 eingelagerte  $\text{NO}_x$  desorbiert und zu Stickstoff reduziert. Eine Abnahme der  $\text{NO}_x$ -Beladung des Speicherkatalysators 18 (Graph 102) ist jedoch erst nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung nach Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine 10 zu verzeichnen, da zum Zeitpunkt  $t_A$  der Abgaskanal 14 noch mit magerem Abgas gefüllt ist, welches zunächst noch den Speicherkatalysator 18 passieren muss, ehe die Reduktionsmittel diesen erreichen. Der Verlauf der  $\text{NO}_x$ -Regeneration wird währenddessen mit Hilfe des von der Messeinrichtung 20 bereitgestellten Signals  $U_\lambda$  – in der Regel eine Spannung – verfolgt. Die Sondenspannung  $U_\lambda$  (Graph 104) verhält sich umgekehrt proportional zu einer Sauerstoffkonzentration des Abgases stromab des Speicherkatalysators 18. Da mit fortschreitender Regeneration die Reduktionsmittel in immer geringerem Ausmaß verbraucht werden, steigt das Signal  $U_\lambda$  der Messeinrichtung 20 langsam an. Zu einem Zeitpunkt  $t_E$  erreicht das Signal  $U_\lambda$  einen vorgegebenen Schwellenwert  $U_{SE}$ , woraufhin die Verbrennungskraftmaschine 10 im Allgemeinen wieder in einen mageren Betriebsmodus mit  $\lambda_M \gg 1$  umgeschaltet wird. Zum Zeitpunkt des Regenerationsendes  $t_E$  befindet sich jedoch noch Abgas mit einem hohen Reduktionsmittelanteil in dem Abgaskanal 14 zwischen der Verbrennungskraftmaschine 10 und dem Speicherkatalysator 18. Dieses durchströmt den nunmehr praktisch  $\text{NO}_x$ -freien Speicherkatalysator 18 und gelangt unkonvertiert in die Umwelt. Der Verlauf der stromab des Katalysators gemessenen Konzentration von Kohlenmonoxid CO und unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC (Graph 106) zeigt daher nach Regenerationsende  $t_E$  noch einen unerwünscht hohen Anstieg.

[0027] Um die Emission von Schadstoffen zu verringern, wird erfindungsgemäß ein anderer Ansatz verfolgt, um das Regenerationsende  $t_E$  zu bestimmen und die Regeneration zu steuern. Der zeitliche Verlauf der gleichen Parameter wie in Fig. 2 ist in Fig. 3 dargestellt – diesmal während einer Regeneration gemäß einer typischen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Nach Beginn der Regeneration zum Zeitpunkt  $t_A$  durch Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine 10 von einem mageren Betriebsmodus mit  $\lambda_M \gg 1$  in einen fetten Modus mit  $\lambda_F < 1$  wird zunächst das Signal  $U_\lambda$  der Messeinrichtung 20 in bekannter Weise gemessen und aufgezeichnet (Graph 104). Nach Verstreichen einer vorgegebenen Zeitspanne beginnt die Steuereinheit 24 zu einem Zeitpunkt  $t_{AH}$  mit einer Hochrechnung des Signals  $U_\lambda$ . Dies geschieht auf Basis des bislang gemessenen Verlaufs von  $U_\lambda$  und anhand verschiedener Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 sowie der Abgasanlage 12. Ferner können Verhaltensmodelle des Speicherkatalysators 18 sowie der Messeinrichtung 20 bei der Hochrechnung berücksichtigt werden. Anhand ausgewählter Betriebsparameter berechnet die Steuereinheit 24 ferner eine Zeitspanne  $\Delta t$ , die der aktuellen Abgaslaufzeit  $\Delta t$ , die das Abgas bis zum Erreichen des Speicherkatalysators benötigt, entspricht. Die Hochrechnung von  $U_\lambda$  sowie die Berechnung der Abgaslaufzeit  $\Delta t$  wird im Hochrechnungszeitraum  $T_H$  ständig aktualisiert.

[0028] Unmittelbar nach Beginn der Hochrechnung des Sensorsignals  $U_\lambda$  wird zunächst überprüft, ob zum aktuellen Zeitpunkt und nach Ablauf der ermittelten Abgaslaufzeit  $\Delta t$  das hochgerechnete Sensorsignal  $U_\lambda$  sich noch unterhalb eines vorgegebenen ersten Schwellenwertes  $U_{S1}$  befindet. Nur

bei Bejahung dieser Überprüfung kann – wie im dargestellten Beispiel – ein der Verbrennungskraftmaschine 10 zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch auf einen vom Lambdawert  $\lambda_{F1}$  abweichenden Lambdawert  $\lambda_{F2}$  geändert werden. (Graph 100). Bei Absenkung des Lambdawertes auf einen gegenüber dem Lambdawert  $\Delta_{F1}$  niedrigeren Lambdawert  $\lambda_{F2}$  steigt der Reduktionsmittelmassenstrom des Abgases weiter an und damit die Regenerationsrate, was sich in einem steileren Abfall der  $\text{NO}_x$ -Beladung des Speicherkatalysators 18 niederschlägt (Graph 102).  $\lambda_{F2}$  wird so lange beibehalten, bis das hochgerechnete Signal  $U_\lambda$  unter Berücksichtigung von  $\Delta t$  den Schwellenwert  $U_{S1}$  erreicht. Dies ist zum Zeitpunkt  $t_1$  der Fall, an dem das Verbrennungslambda wieder auf einen weniger fetten Lambdawert  $\lambda_{F3}$  angehoben wird (Graph 100).

[0029] Kurze Zeit später erreicht im vorliegenden Beispiel das hochgerechnete Sensorsignal  $U_\lambda$  einen zweiten, aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellten Signalschwellenwert  $U_{S2}$ , der zwischen  $U_{S1}$  und  $U_{SE}$  angesiedelt ist. Das Erreichen des Signalschwellenwertes  $U_{S2}$  signalisiert, dass die  $\text{NO}_x$ -Beladung des Speicherkatalysators 18 nahezu erschöpft ist. Um einen drohenden Schadstoffdurchbruch durch das fette Abgas zu vermeiden, wird das Verbrennungslambda weiter auf einen Wert von  $\lambda_{F4}$  nahe 1 angehoben.  $\lambda_{F4}$  beträgt dann typischerweise 0,95 bis 0,98.

[0030] Auf Basis des hochgerechneten Signalverlaufes wird erfindungsgemäß ferner der Zeitpunkt  $t_S$  bestimmt, an dem der vorgegebene Signalschwellenwert  $U_{SE}$  theoretisch erreicht wird. Durch Subtraktion der Abgaslaufzeit  $\Delta t$  von dem Zeitpunkt  $t_S$  wird dann der Zeitpunkt des (tatsächlichen) Regenerationsendes  $t_E$  bestimmt. Ist das so bestimmte Regenerationsende  $t_E$  erreicht, wird die Verbrennungskraftmaschine 10 wieder in den mageren Betriebsmodus mit  $\lambda_M$  umgeschaltet. Zu diesem Zeitpunkt liegt in dem Speicherkatalysator 18 noch eine geringe Menge eingelagertes  $\text{NO}_x$  vor (Graph 102), welches ausreicht, um die restlichen, im Abgas enthaltenen Reduktionsmittel zu konvertieren. Folglich werden stromab des Speicherkatalysators 18 nach dem Regenerationsende  $t_E$  nur noch sehr geringe Anteile an Schadstoffen gemessen (Graph 106).

[0031] Der Vergleich der durch die Graphen 106 in den Fig. 2 und 3 symbolisierten Konzentrationen von Kohlenmonoxid CO und unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 18 zeigt eine starke Verringerung der regenerationsbedingten Schadstoffemission. Es wird aber auch deutlich, dass bei geeigneter Wahl der Lambdawerte  $\lambda_{F1}$  bis  $\lambda_{F4}$  durch das erfindungsgemäße Verfahren die Gesamtdauer der  $\text{NO}_x$ -Regeneration reduziert werden kann, wodurch sich eine Minimierung des für die Regeneration notwendigen Kraftstoffmehrverbrauches ergibt.

#### Bezugszeichenliste

10	Verbrennungskraftmaschine	55
12	Abgasanlage	
14	Abgaskanal	
16	Vorkatalysator	
18	$\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator	
20	sauerstoffempfindliche Messeinrichtung	60
22	Motorsteuergerät	
24	Steuereinheit	
100	Verbrennungslambda	
102	$\text{NO}_x$ -Beladung des $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators	
104	Signalverlauf ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung	65
106	Reduktionsmittelgehalt im Abgas	
$t_A$	Regenerationsbeginn	
$t_E$	Regenerationsende	

$t_S$	Zeitpunkt der Überschreitung von $U_{SE}$
$t_{AH}$	Hochrechnungsbeginn
$T_H$	Hochrechnungsdauer
$\Delta t$	Abgaslaufzeit
5	$U_\lambda$ Signal der Messeinrichtung
$U_{SE}$	Schwellenwert zur Beendigung der $\text{NO}_x$ -Regeneration
$U_{S1}, U_{S2}$	Schwellenwerte
$\lambda_M$	Lambdamagerwert
$\lambda_F$	Lambdafettwert

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur  $\text{NO}_x$ -Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators, wobei der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, dadurch gekennzeichnet, dass

(a) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird und

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung einer im wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne ( $\Delta t$ ) variiert wird.

2. Verfahren zur  $\text{NO}_x$ -Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators, wobei der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, dadurch gekennzeichnet, dass

(a) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird und auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt ( $t_S$ ) bestimmt wird, an dem ein vorgegebener erster Signalschwellenwert ( $U_{SE}$ ) überschritten wird, und

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal ( $U_\lambda$ ) und/oder dem Zeitpunkt ( $t_S$ ) unter Berücksichtigung einer im wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne ( $\Delta t$ ) variiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß Regenerationsende ( $t_E$ ) bestimmt wird, indem eine im wesentlichen der Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechende Zeitspanne ( $\Delta t$ ) berücksichtigt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-

che, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine (10) dem Regenerationsende ( $t_E$ ) vorausgehend auf einen Wert ( $\lambda_{F4}$ ) angehoben wird, der größer als ein vorausgegangener Verbrennungslambda wert und 1 ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbrennungslambda bei Erreichen eines zweiten vorgegebenen Signalschwellenwertes ( $U_{S2}$ ) durch das hochgerechnete Sensorsignal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit ( $\Delta t$ ) oder nach Ablauf eines vorgebbaren Anteils einer durch die Hochrechnung ermittelten Regenerationsdauer angehoben wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbrennungslambda auf  $\lambda_{F4} = 0,94$  bis 0,99, insbesondere auf 0,95 bis 0,98, angehoben wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine (10) so lange auf einen Wert ( $\lambda_{F2}$ ) unterhalb eines vorausgegangenen Lambda wertes abgesenkt wird, bis das hochgerechnete Sensorsignal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit ( $\Delta t$ ) einen dritten vorgegebenen Signalschwellenwert ( $U_{S1}$ ) erreicht.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbrennungslambda auf  $\lambda_{F2} = 0,6$  bis 0,9, insbesondere auf 0,7 bis 0,8, abgesenkt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Anhebung und/oder Absenkung des Verbrennungslambdas stufenweise erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgaslaufzeit ( $\Delta t$ ) anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) berechnet wird oder vorgegeben wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder der Abgasanlage (12) hochgerechnet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) in Abhängigkeit des der Verbrennungskraftmaschine (10) zugeführten Luft-Kraftstoff-Gemisches (Verbrennungslambda) und/oder eines Abgasmassenstromes und/oder einer Abgastemperatur und/oder einer Katalysatortemperatur hochgerechnet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (18) hochgerechnet wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells der sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung (20), insbesondere einer Trägheit der Messeinrichtung (20), hochgerechnet wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochrechnung nach einem Verstreichen einer vorgegebenen Zeit nach Beginn der Regeneration und/oder nach Durchsatz einer vorgegebenen Abgasmasse und/oder nach Überschreiten einer vorgegebenen Schwelle des Signals ( $U_\lambda$ ) beginnt.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochrechnung des Signals ( $U_\lambda$ ) unterbleibt, wenn vorgegebene Grenzwerte für Betriebsbedingungen der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder der Abgasanlage (12) nicht eingehalten werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass Grenzwerte für den Abgasmassenstrom und/oder für die Temperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (18) vorgegeben werden.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochrechnung des Signals ( $U_\lambda$ ) bei einer Schubabschaltung während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration unterbleibt.

19. Vorrichtung zur Durchführung einer Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators, wobei der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel vorhanden sind, mit denen die Verfahrensschritte

(a) Hochrechnung des sauerstoffabhängigen Signals ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration, und

(b) Variierung der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung einer im wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne ( $\Delta t$ )

ausführbar sind.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel eine Steuereinheit (24) umfassen, in der ein Algorithmus zur Steuerung der Verfahrensschritte in digitaler Form hinterlegt ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (24) in ein Motorsteuergerät (22) integriert ist.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) eine Breitband- oder Sprungantwort-Lambda sonde oder ein  $\text{NO}_x$ -Sensor umfasst.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

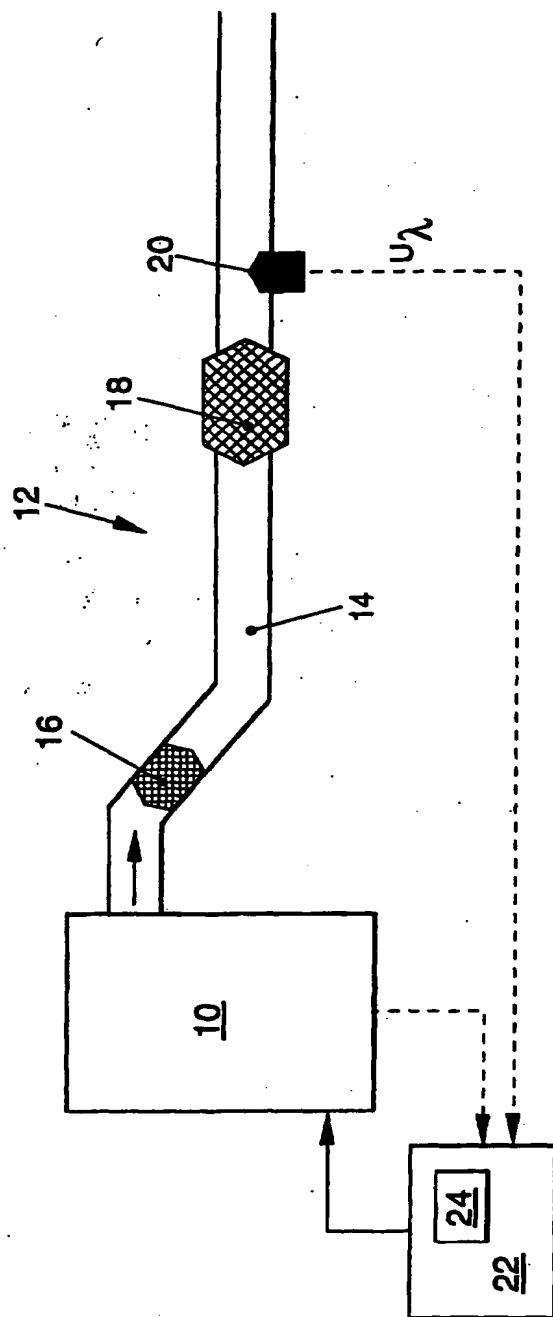


FIG. 1

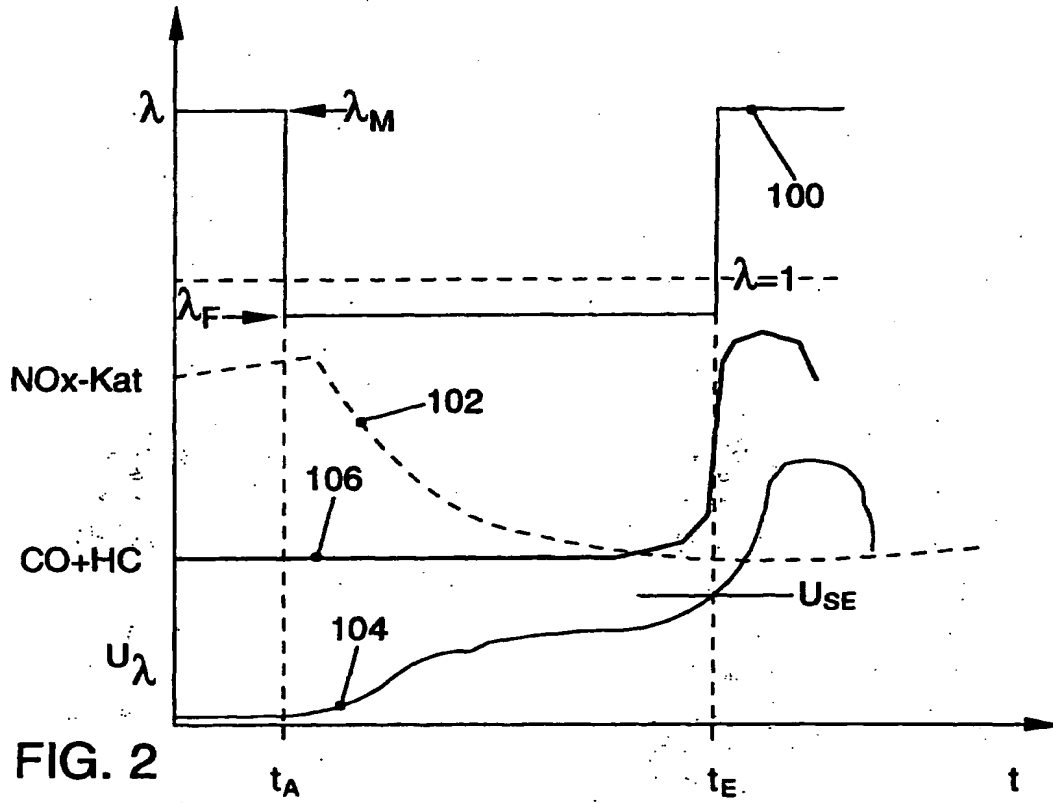


FIG. 2

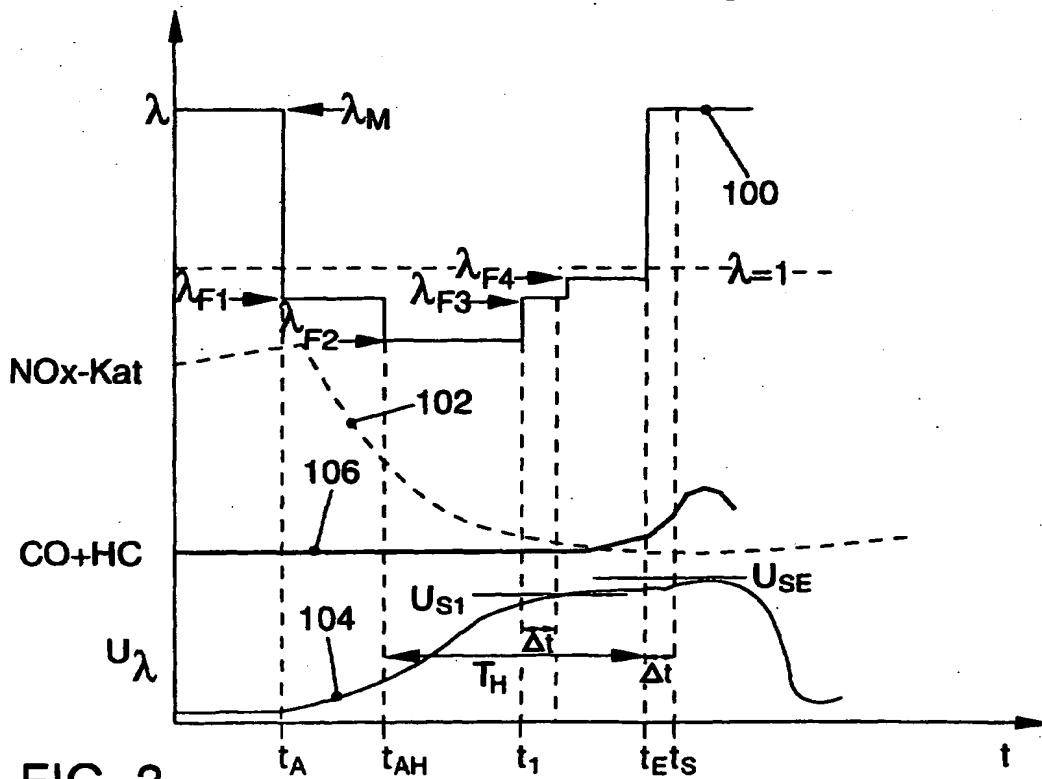


FIG. 3